

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2001356470 A

(43) Date of publication of application: 26.12.01

(51) Int. Cl

**G03F 1/08**

**G02B 3/00**

**G03F 7/24**

**// B29K105:32**

**B29L 11:00**

(21) Application number: 2000176252

(71) Applicant: RICOH OPT IND CO LTD

(22) Date of filing: 13.06.00

(72) Inventor: UMEKI KAZUHIRO  
HANDA TAKUYA

**(54) METHOD FOR PRODUCING  
THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE USING  
DISTRIBUTED DENSITY MASK**

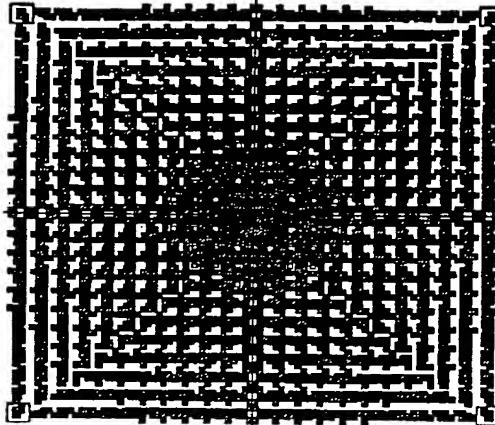
conditions within exposure time in exposure using the distributed density mask.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To smoothen the surface shape of an objective article.

**SOLUTION:** A photosensitive material pattern with a three-dimensional structure is formed on a substrate by exposure using a distributed density mask and transferred to the substrate by etching to produce an objective article having a surface shape with a three-dimensional structure. The distributed density mask is obtained by forming a light shielding pattern with a two-dimensional light intensity distribution on a transparent substrate, dividing the pattern by unit cells of appropriate shape and size without leaving a gap and setting a light shielding pattern in each of the unit cells in such a way that light is transmitted or shielded in proportion to the height of the corresponding position of the photosensitive material pattern. A photosensitive material layer is formed on a substrate and the photosensitive material pattern is formed by a photolithographic step which is carried out while varying the extent of defocusing under preset



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-356470

(P2001-356470A)

(43)公開日 平成13年12月26日 (2001. 12. 26)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マコ-ト(参考)

G 03 F 1/08

G 03 F 1/08

D 2 H 0 9 5

G 02 B 3/00

G 02 B 3/00

A 2 H 0 9 7

G 03 F 7/24

G 03 F 7/24

Z

// B 29 K 105:32

B 29 K 105:32

Z

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全 10 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-176252(P2000-176252)

(71)出願人 000115728

リコー光学株式会社

岩手県花巻市大畑第10地割109番地

(22)出願日 平成12年6月13日 (2000. 6. 13)

(72)発明者 梅木 和博

岩手県花巻市大畑第10地割109番地 リコ  
一光学株式会社内

(72)発明者 半田 卓也

岩手県花巻市大畑第10地割109番地 リコ  
一光学株式会社内

(74)代理人 100085464

弁理士 野口 繁雄

F ターム(参考) 2H095 BA12 BB02 BB36

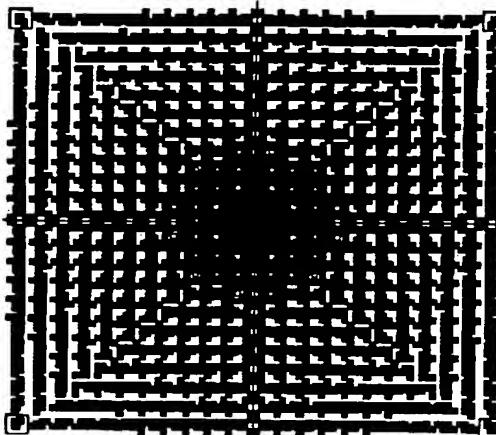
2H097 AA16 BB01 CA17 JA02 LA15

(54)【発明の名称】 濃度分布マスクを用いた3次元構造体製造方法

(57)【要約】

【課題】 目的とする物品の表面形状を平滑なものとする。

【解決手段】 濃度分布マスクを用いた露光により基板上に3次元構造の感光性材料パターンを形成し、その感光性材料パターンを基板に彫り写すことにより3次元構造の表面形状をもつ物品を製造する方法であり、濃度分布マスクとして、透明基板上に2次元の光強度分布を有する遮光パターンが形成され、適当な形状及び大きさの単位セルにより隙間なく分割され、各単位セル内の遮光パターンが感光性材料パターンの対応した位置の高さに応じた光透過量又は遮光量となるように設定されていることにより遮光パターンが構成されているもの要用い。基板上に感光性材料層を形成し、上記濃度分布マスクを用いた露光において、露光時間内にデフォーカス量を予め設定された条件で変化させつつ行なうフォトリソグラフィ工程により感光性材料パターンを形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 濃度分布マスクを用いた露光により基板上に3次元構造の感光性材料パターンを形成し、その感光性材料パターンを前記基板に彫り写すことにより3次元構造の表面形状をもつ物品を製造する方法において、濃度分布マスクは透明基板上に2次元の光強度分布を有する遮光パターンが形成されたものであり、適當な形状及び大きさの単位セルにより隙間なく分割されており、各単位セル内の遮光パターンが前記感光性材料パターンの対応した位置の高さに応じた光透過量又は遮光量となるように設定されていることにより前記遮光パターンが構成されているものであり、

前記基板上に感光性材料層を形成し、前記濃度分布マスクを用いた露光において、露光時間内にデフォーカス量を予め設定された条件で変化させつつ行なうフォトリソグラフィ工程により前記感光性材料パターンを形成することを特徴とする3次元構造体製造方法。

【請求項2】 前記フォトリソグラフィ工程は、デフォーカス量を焦点が大きくずれた側から焦点が合う側へ変化させる請求項1に記載の3次元構造体製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、濃度分布マスクを用いた露光により基板上に3次元構造の感光性材料パターンを形成し、その感光性材料パターンを基板に彫り写すことにより3次元構造の表面形状をもつ物品を製造する方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光学素子の屈折面や反射面に、球面や非球面等に代表される特殊な面形状が使用されるようになってきている。また近年は液晶表示素子や液晶プロジェクタ等に関連して、マイクロレンズ等にも特殊な面形状が求められている。そこで屈折面や反射面を型成形や研磨によらずに形成する方法として、光学基板の表面にフォトトレジスト（感光性材料の代表例）の層を形成し、このフォトトレジスト層に対して2次元的な透過率分布を有する露光用マスクを介して露光し、フォトトレジストの現像によりフォトトレジストの表面形状として凸面形状もしくは凹面形状を得、しかる後にフォトトレジストと光学基板とに対して異方性エッティングを行ない、フォトトレジストの表面形状を光学基板に彫り写して転写することにより、光学基板の表面に所望の3次元構造の屈折面や反射面の形状を得ることが知られている（特開平7-230159号公報、特表平8-504515号公報を参照）。

【0003】 そこでは、屈折面や反射面等の3次元構造の特殊表面形状を得るために用いられる露光用マスクとして、特殊表面形状に対応して透過率が段階的に変化する2次元的な透過率分布を持った濃度分布マスク（グラデーションマスク（GM））が使用されている。

【0004】 特表平8-504515号公報（この記載内容を従来技術とする）に記載されている濃度分布マスクでは、2次元的な透過率分布のパターンを形成するために、マスクパターンを光伝達開口と称する単位セルに分割し、各単位セルの開口寸法が、形成しようとするフォトレジストパターンの対応した位置の高さに応じた光透過量又は遮光量となるように設定されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 従来技術の濃度分布マスクを用いて行なう露光工程は、投影露光法である場合も密着露光法である場合も、フォトレジスト層にちょうど焦点が合ったジャストフォーカス状態で行なわれる。そのため、目的とする物品の表面形状を実質的に平滑なものとするためには、階調数を非常に大きくしなければならず、例示されているように単位セルにおける開口寸法の単位が露光に用いる光の波長よりも短くする必要がてくる。そして、パターンが微細になればなるほどその製造コストが上昇する。目的とする物品の表面形状は、階調数を大きくしていくにつれて平滑なものに近づいてはいくものの、あくまで階段状のものである。従来技術の文献で「実質的に」と述べているのはそのことを意味している。そこで、本発明は、目的とする物品の表面形状を平滑なものとする目的とするものである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明は、濃度分布マスク工法を用いることによって、上記問題点を解決する方法の提案である。濃度分布マスク工法はレジスト熱変形工法に比べて次のような利点をもっている。

（1）隣接間隔を限りなく零に近づけた微小ピッチのマイクロ・レンズ・アレイ（MLA）は隣接部の高さが隣接線断面で異なっている。しかし、この形状を従来のレジスト熱変形工法で製作しようとしても目的の設計通りのMLA構造を製作できない。また従来のレジスト熱変形工法では、レジストの複数回塗布工法によって間隔を小さく、あるいは、隣接断面高さを目的地に近づけることはできるが、独立（孤立）したレジストブロックを形成するために隣接するMLAの間隔を零にすることは事実上不可能である。

（2）フレネルレンズの形成は、従来のレジスト熱変形方法では不可能であった。

（3）従来のレジスト熱変形工法では、直径500μm程度が大口径レンズの限界であった。

（4）非球面形状を容易に製作できる。

（5）トロイダル等の異形レンズを容易に製作できる。

（6）プリズム、ピラミッド等に代表される単調増加の凸構造が容易に製作できる。

（7）マイクロマシニング等の複雑な構造物を容易に製作できる。

50 【0007】 本発明の目的は請求項1に記載した3次元

構造体製造方法により達成することができる。すなわち、濃度分布マスクを用いた露光により基板上に3次元構造の感光性材料パターンを形成し、その感光性材料パターンを基板に彫り写すことにより3次元構造の表面形状をもつ物品を製造する方法であり、露光に用いる濃度分布マスクは透明基板上に2次元の光強度分布を有する遮光パターンが形成されたものであり、適当な形状及び大きさの単位セルにより隙間なく分割されており、各単位セル内の遮光パターンが感光性材料パターンの対応した位置の高さに応じた光透過量又は遮光量となるように設定されていることにより遮光パターンが構成されているものであり、基板上に感光性材料層を形成し、上記濃度分布マスクを用いた露光において、露光時間内にデフォーカス量を予め設定された条件で変化させつつ行なうフォトリソグラフィ工程により感光性材料パターンを形成する。ここでデフォーカス量とは焦点がずれている程度をいう。

【0008】デフォーカス状態で露光することにより、フォトレジストに形成される3次元パターン、ひいては目的とする物品の表面形状を平滑なものとすることができる。そして、デフォーカス量を多段階に変化させることにより、3次元パターン表面を滑らかにする効果を保つつ、デフォーカス量を大きく設定して変化させない場合に比べて露光時間の短縮、隣接効果の低減による形状制御性の向上及び露光面への光の到達度の向上を図ることができる。デフォーカス量の制御は、露光が投影露光である場合には、焦点を感光性材料層からはずせばよく、露光がマスクを感光性材料に近づけて行なう近接露光の場合には、露光時間内に感光性材料層が形成されている基板とマスクの一方又は両方を面内で移動させればよい。また、露光時間内に、デフォーカス量に応じて露光量を制御することが好ましい。

#### 【0009】

【発明の実施の形態】フォトリソグラフィ工程は、デフォーカス量を焦点が大きくずれた側から焦点が合う側へ変化させることができが好ましい。その結果、フォトレジストに形成される3次元パターン、ひいては目的とする物品の表面形状をより平滑なものとことができる。

【0010】また、単位セルの形状及び大きさを選択することにより、描画ビーム形状に合わせた最適な設計方法を選択することができるようになる。濃度分布マスクは、感光性材料の「感度曲線」と濃度分布マスクの各単位セル固有の光透過領域（面積）とこれを通過する「光エネルギー量」の関係から、実験的に求められる関数を与えられるものである。ここで、実験的に求められるとは、プロセス条件によって、感光性材料の「感度特性」及び光拡散量が異なることを意味する。即ち、プロセス条件パラメータを変更すると、与えられる関数も異なることを意味する。感光性材料の「感度曲線」は、感光性材料への光照射エネルギーと感光性材料の感光性成分の

関係で基本的には決定される。但し、フォトリソグラフィ条件（露光条件、現像条件、ベーリング条件等）によっても変更される曲線（即ち、関数）である。

【0011】また、光透過量は、感光性材料中に含まれる分子構造によって光の吸収係数が異なるため感光性材料中を光が進行する際には、深さに応じて光エネルギー（光量）が指数関数的に減少する。つまり、感光性材料の厚さ（深さ）に対して照射光エネルギー量は指数関数で減少する関係にある。したがって、「光透過量」と感光性材料の「感度」（光吸收率）を実験データから組み合わせると、感光性材料の厚さ方向に分布を有する光エネルギー分布を形成することが可能となる。ここで除去される感光性材料の厚さTは、下記の式で表される。

#### 【0012】

$$T = (1/\alpha) \cdot L_n(P \cdot S) - (1/\alpha) \cdot L_n(Y)$$

$$T = L_n(a \cdot (S+b)^f \cdot F(X))$$

T：除去される感光性材料の厚さ（μm）

$\alpha$ ：係数（各種プロセス条件等の関数であり、 $\alpha > 0$ ）

P：濃度分布マスク表面での光量（mJ）

20 S：濃度分布マスクパターンの単位セル開口率、したがって  $S < 1$

Y：深さTでの光量、感光性材料が感光するのに必要な露光量（mJ）

a, b, f：係数

F(X)：関数（但し、 $F(X) = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ ）

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, ..., X<sub>n</sub>：感光性材料プロセス、感光性材料自体の感度、濃度分布マスク設計手法によって変化する因子

30 【0013】本発明は、半導体プロセスのように、ある高さの感光性材料を2次元ラインパターンを形成するのが目的ではなく、「3次元形状、即ち高さ方向にも制御されたパターン性を有する構造物」を形成することを対象としている。上記方法によって感光性材料層の厚さを変化せしめる3次元形状形成方法において、濃度分布マスクを構成する単位セルの「光透過領域」又は「遮光領域」を所望の形状に応じて2次元的に設計し、その結果、濃度分布マスクを透過した光は2次元の光強度分布を有する特徴を発現できる。

40 【0014】本発明の濃度分布マスクを用い3次元構造を製作すると、球面、非球面、円錐形状のような連続面で構成される光学素子を製作することも、フレネル形状のように連続面と不連続面から構成される光学素子を製作することも可能となる。更に、そのような光学素子に反射光学面を形成し、反射光学素子とすることも可能である。

【0015】濃度分布マスクレチクルを製作するに当たり、まず、レジスト材料の感度曲線を求め、光照射量とレジスト除去量の関係を把握する。濃度分布マスクレチクルを用いて露光すると、露光量、単位セルの光透過量

又は遮光量によってレジスト材料の除去量が異なる。これによって、「単位セルN o.」(即ち光透過量又は遮光量とレジスト除去量が特徴づけられた関係を一つのN o.として表す)が決定される。「単位セルN o.」は、上記の関係をグラフ化し、関数化することによって式に変換できる。上記式に基づいて、目的とする「形状のレンズ高さ」と「レジスト残存量(「レジスト膜厚」-「除去量」)」の関係を式化する。次いで、CAD(Computer Aided Design)上で「レンズ配置位置」と「レンズ高さ(レジスト残存量)」の関係を明らかにする。更に、これを発展させて、「レンズ配置位置」と「単位セルN o.」の関係に置き換える。すなわち、上記の基本的考え方立ち、詳細なデータに裏付けされた計算式とプログラムから、CAD設計画面上でレンズ高さと濃度分布マスクパターンセルN o.を関数付けてセルN o.を配置する。

【0016】次に、CADデータをデータ化してレーザー光照射装置にセットする。濃度分布マスクレチクルは、一例として、正方形に分割された単位セルで構成され、各単位セル内の光透過量又は遮光量が制御されたものとする。勿論、所望の形状に応じて最適の単位セルを決め最適なドットで製作すればよい。ここでは説明を簡単するために、正方形で説明する。光透過量の制御方法は、①Cr開口面積の制御、②Cr膜厚の制御、③①と②の組合せ方法がある。ここでは、③の方法を採用した。

【0017】濃度分布マスクレチクルを製作するためには、透明ガラス基板上に例えば200nm厚さのCr膜を成膜し、その上に上記のレジスト材料を塗布して濃度分布マスクレチクルブランクスとする。そのレジスト材料に上記のCADデータがセットされたレーザー光照射装置を用いてレーザー光を照射し描画を行なう。レーザー光照射では、所望の形状に応じて最適のビーム形状を決定し、多角形形状や円形状などをアバチャードで整形する。このレーザー光照射装置によりレーザー光が照射されたレジスト材料部分は、次の現像工程によって除去され、レジスト材料層にマスクパターンが形成される。

【0018】次に、このパターン化されたレジスト材料層をエッティングマスクとしてCr膜をドライエッティング又はウエットエッティング、好ましくはドライエッティングすることにより、Cr膜がパターン化されて、「単位セルN o.」が規則的に「レンズ配置位置」に並んだ、所望の2次元的な透過量分布を有する濃度分布マスクが得られる。その単位セル内では、Cr膜の除去された部分と、Cr膜の残っている部分が形成される。その光透過量又は遮光量として、一つの単位セルを特徴づけ、構成させることができる。

【0019】濃度分布マスクレチクルマスクのブランクスとしては、市販のマスクブランクスを使用してもよい。つまり、市販のマスクブランクスとは石英基板上に

200nm程度のCr膜を成膜したもの(必要に応じて、Crと酸化Crの2層膜)に感光性材料を1μm程度塗布したものである。上記の濃度分布マスクレチクル製作において、Cr膜のパターン化をエッティング処理により行なえば、Cr膜のある部分では光透過率が0%、Cr膜のない部分では光透過率が100%となる遮光膜パターンが得られる。

【0020】また、単位セル内で残存させるレジスト材パターンの膜厚が単位セル内のパターン周辺部では周辺に向って連続的に厚くなるように上記レーザー光照射装置による露光を行ない、現像をしてそのレジスト材層にパターンを形成した後、そのレジスト材パターンをマスクとして異方性ドライエッティングによりCr膜をエッチングすれば、単位セル内のCr膜パターンがその周辺部では周辺に向って膜厚が連続的に厚くなつて光透過率が連続的に変化するようになることができる。

【0021】また、本製作方法は、電子線描画(EB描画)でも製作できるが、電子線出射のフィラメント電流の制御、長時間露光時のフィラメント細り、電子線モレ(ドーズ)量の制御等の装置制御上の課題が多く、再現性が著しく乏しい。また製作時は、単一ビームしか出射できないために製作に莫大な時間を要し、経時的な変動が大きい。以上から、本発明では、安価で信頼性の高いレーザー光照射装置を作成し、濃度分布マスクを製作した。

#### 【0022】

【実施例】(単位セル内の形状と配置、及び「光透過」、「光遮光」ドットの形状と配置)次に、単位セル内の形状と配置、及び「光透過」、「光遮光」ドットの形状と配置について説明する。以下に示す例は、代表的な例を示したものであり、単位セルの寸法、ドットの寸法、起点の寸法等は、所望の形状に対応して設計されるべきもので、本実施例に限定されるものではない。即ち、各単位セルとドットの寸法によって階調数が決定されるので、これらの寸法は、目的形状と目的階調によって決定するものである。

【0023】図1には、単位セル形状を変更する場合の代表例として、6種類の多角形形状の例を示した。

(ア)は正方形、(イ)は正六角形、(ウ)は直角二等辺三角形、(エ)は長方形、(オ)は六角形、(カ)は二等辺三角形である。これらの多角形は、「所望の形状を上方向から見た際に、上方から多角形の網を覆いかぶせる方法」で最適の形状を決定する。所望の形状に応じて、すなわち、例えば、なだらかな曲面が続く場合、不連続な面で構成される場合など階調の変化量によって、濃度分布マスク特性を発現する「最も効果的な多角形」及び「その組み合わせ」を選択することで最適な形状を決定することができる。また、同様に単位セルの寸法も所望の形状に対して必要な階調をどの程度微細にとるかで決定される。即ち、短い距離で多くの階調を必要とす

る時には、比較的小さな寸法の単位セルを選択し、ドット寸法ができるだけ小さくするのが望ましい。

【0024】図2には、MLAの濃度分布マスクの単位セル配置の例を示した。(ア)は中心部分に配置する単位セルの組合せパターンの例、(イ)は周辺部分に配置する単位セルの組合せパターンの例を示している。いずれも実線で示されているのが単位セルで、破線の矢印はその方向にも単位セルが配置されていることを示している。

【0025】(ア)はMLAの中心付近に配置するため、所望の形状はなだらかな曲線形状である。このため階調数はさほど必要としない。したがって、寸法の比較的大きい単位セルで構成し、放射線状に単位セルを配置している。

【0026】(イ)は周辺部分に配置するため、所望の形状は急激に変化する曲面形状である。このため階調数は多くを必要とする。したがって、MLAの四隅に近づくにつれて寸法の小さな単位セルで構成し、ドット寸法も小さくする必要がある。また、単位セルの形状も四角形だけでなく、三角形のものも配置し、単位セル内でのドットの位置を変更することにより光透過量の隣接効果に対処しやすくしている。

【0027】図3は、代表的な単位セル内の光透過領域又は遮光領域の増加又は減少の起点となる初期パターンの位置の違いと、光透過量又は遮光量を変化させる方法を示している。いずれも最も外側の正方形が単位セルを表わし、内側の正方形はそれぞれ光透過領域又は遮光領域を表わしている。(A)では単位セルの中央に起点があり、(B)では四隅のいずれかに起点が配置されていることを表わしている。

【0028】図4は、光を透過する開口部(Crがない部分)を増加させていく例を示している。特に説明はないが、光透過面積を減少させていく場合も同様である。図4(ア)は螺旋状に中心から面積を増やす方法であることの例を示している。この例は、ある単位セルNo.からのドットの増加方法の代表例を示している。また、ある代表的な1ドットづつの増加方法あるいは減少方法を示している。したがって、ここに示したドットの中心に配置した初期四角形形状の寸法やドット寸法はモデル的なものであり、本発明では正方形に限定されるものではなく、長方形、三角形等の多角形でも構わない。また、当然のことながら梢円形状を含む円形状でもよい。

【0029】図4(イ)は単位セルが正六角形の場合の例を示している。この場合は、斜線部で示されるドットは円であり、その大きさを変えることにより透過量又は遮光量が変化していく。また、ドットの面積の増加・減少は入力時のインプットデータであり、マスクの製作条件によってはレーザー光の太りやドライエッチングの等方性エッチングなどにより形状が崩れることがある。

【0030】(濃度分布マスクの設計)マイクロレンズの隣接間隔を限りなく零に近づけた微小ピッチMLAの例を示す。液晶プロジェクタ用MLAにおいて、0.9"-XGA用の画素サイズは、 $18\mu m \times 18\mu m$ である。このMLAにおいては、レンズの両側に各 $1\mu m$ づつのレンズ非形成部がある場合は、 $16\mu m \times 16\mu m$ のマイクロレンズ領域となり、全体の面積に占めるMLA面積は、 $16 \times 16 / 18 \times 18 = 256 / 324 = 0.79$ となり、MLAで全ての光を有効に集光することができても79パーセントの集光効率でしかない。即ち、MLAの非形成部の面積を小さくすることが光利用効率を向上させるには重要であり、この実施例ではそのレンズ非形成部を零に近づける。

【0031】具体的には、1/5倍(縮小の)ステッパーを用いる場合、実際に製作した濃度分布マスクレチカルパターン寸法は、 $90\mu m \times 90\mu m$ である。この1個のMLAを $3.0\mu m$ の単位セルに分割し縦×横=30×30(個)=900(個)の単位セルに分割する。

【0032】次に、中央部の $2 \times 2$ 単位セル(濃度分布マスクレチカル上では $6\mu m \times 6\mu m$ 、実際のパターンでは $1.2\mu m \times 1.2\mu m$ )にはセルNo.1番(クロム全部残り)を配置する。また、レンズ四隅部分はセルNo.80番(クロム残り部分なし)を配置する。この間のNo.1～No.80のセルには、各「階調」に対応する「開口面積」を対応させる。この関係は、露光プロセスとレジスト感度曲線から得られる関係である。勿論、レジスト材料やプロセスが異なればその都度感度曲線を把握する必要がある。このようにして、MLA濃度分布マスクレチカルのCADデータを作成する。本件実施例では、図1(ア)～(カ)の方式を用いてCADプログラムを製作した。

【0033】(濃度分布マスクレチカルの製作)上記のようにして作成したCADデータを図5に示す自社開発のレーザー光照射装置を用いてレーザー光を照射しレジスト材料に描画を行なった。このレーザー光照射では、所望の形状に応じて最適のビーム形状を決定し、多角形形状や円形状などをアバチャード整形することができる。

【0034】図5に示すレーザー光照射装置は、レーザー光発振装置1、レーザー光発振装置1からのレーザー光を複数のレーザー光に分割するビームスプリッター2、レーザー光の光路を折り曲げるミラー3、ミラー3で折り曲げられたレーザー光を変調する光変調器4、データバスからの信号により光変調器4を制御して個々のレーザー光のON・OFFを制御する光変調制御装置5、光変調器4からのレーザー光を偏向する光偏向器6、レーザー光をレジスト材料層に集光するための対物レンズ7、載置されたマスクブランクスをX方向及びY方向に移動するX-Yステージ8、並びに光偏向器6の動作とX-Yステージ8の動作を制御する制御装置9な

どの主要構成部品から構成されている。

【0035】このレーザー光照射装置は、設計データに応じてX-Yステージ8の動作と、個々のレーザー光のON・OFF及び偏向を制御することにより、マスクブランクスのレジスト材料層に所望のマスクパターンを描画する。すなわち、このレーザー光照射装置によりレジスト材料層にレーザー光を照射して各単位セル毎に光透過領域又は遮光領域を所望の透過率分布になるように2次元的にパターン形成を行なう。また、この際、所望の特殊表面形状に応じて演算された各単位セルの透過量分布に応じてレーザー光の照射が制御され、各単位セル内の光透過領域又は遮光領域を増加または減少させるドットの配列が制御される。単位セル形状とドット形状は目的とする製品により適当なものを選択すればよい。

【0036】上記のようにして作成したCADデータを図5に示したレーザー光照射装置にインストールして、X-Yステージとレーザー光のON, OFF及びビーム形状をアパチャードで制御しながら、所定の方法で濃度分布マスクブランクスに露光した。そして、所定の方法で現像、 rinsを行なってレジスト材料層をバーニングした。その後、ドライエッティングにてCr膜のバーニングを行なった。

【0037】レーザービーム描画方法を用い、描画ビーム形状を矩形にして描画領域を螺旋状に増加させていくことにより電子線描画方法よりも高い再現性を得ることができる。描画領域が円形の場合には、レーザービーム描画方法は描画領域の直径が0.2μm以上のときは非常に高い再現性を得ることができる。描画領域の直径が0.2μmより小さくなると再現性が悪くなってくるが、電子線描画方法では描画領域の寸法が0.5μmより小さくなると再現性が悪くなるのに比べると、再現性が格段に優れている。

【0038】「隣接効果」の予測は単位セルの形状に依存する。単位セル形状が正方形や長方形の場合には矩形のドットにより正確に描画できるため、隣接効果を計算で予測することができる。

【0039】これらの結果から、図1の(ア)、(イ)のマスクが最も良い出来だったのでこれを使用した。尚、図1の(ア)の配置では、図3の(A)タイプ、(B)タイプどちらも良好な結果を得ることができた。図1の(イ)の配置では図3の(A)タイプのドット配置で実施した。但し、各方法とも長所、欠点があるのでそれぞれ目的形状に応じて使い分けが可能である。以下の具体例ではドット形状を円形状(中心から同心円状にレーザー光照射部分を増やしていく方式)を用いてCADプログラムを作成した。このようにして、目的とする開口寸法を有し、かつ濃度分布を有する濃度分布マスクレチカルを製作した。

【0040】(濃度分布マスクレチカル製作の具体例)  
疊サイズの液晶用MLAの製作：濃度分布マスクレチカル

を製作するに当たり、感光性材料であるレジスト材料として、ポジ型レジスト材料のTGMR-950(東京応化(株)の製品)を用いた。

【0041】濃度分布マスクは、正方形に分割された単位セルで構成され、各単位セル内の光透過量又は遮光量が制御されたものとした。勿論、所望の形状に応じて最適の単位セルを決め最適なドットで製作すればよい。ここでは説明を簡単にするために、正方形で説明する。光透過量の制御方法は、①Cr開口面積の制御、②Cr膜厚の制御、③①と②の組合せ方法がある。ここでは、③の方法を採用した。

【0042】濃度分布マスクレチカルを製作するためには、透明ガラス基板上に例えば200nm厚さのCr膜を成膜し、その上に上記のレジスト材料を塗布する。そのレジスト材料に図5のレーザー光照射装置を用いてレーザー光を照射し描画を行なった。その後、現像とリンスを経てレジスト材料層にマスクパターンを形成し、そのレジストパターンをエッチングマスクとしてCr膜をドライエッティングすることにより、Cr膜をパターン化し、濃度分布マスクを製作した。

【0043】図6は、濃度分布マスクの代表的な配置例として20μm×20μmのマイクロレンズのためのものの例を示す。単位セルは、碁盤の目状の正方形形状である。単位セルは必ずしも正方形である必要はなく、所望の形状に応じて他の多角形形状にすることが望ましい。斜線部はCr膜が残存している部分である。

【0044】(液晶用微小寸法MLAの製作)  
(液晶用微小寸法MLA製作の具体例1)濃度分布マスクレチカル製作の具体例1の濃度分布マスクレチカル(図6のもの)をマスクとして使用し、図7に示す縮小投影露光装置(1/5ステッパー)を使用して露光を行なって、レジストパターンを形成し、それを光学デバイス用材料に転写して製作した液晶プロジェクタ用MLAの例を述べる。

【0045】まず、その縮小投影露光装置の説明を行なう。光源ランプ30からの光は、集光レンズ31により集光され、露光用マスク32を照射する。マスク32を透過した光は、縮小倍率の結像レンズ33に入射し、ステージ34上に載置された光学デバイス用材料37の表面に、マスク32の縮小像、即ち、透過率分布の縮小像を結像する。光学デバイス用材料37を載置したステージ34は、ステップモーター35、36の作用により、結像レンズ33光軸に直交する面内で、互いに直交する2方向へ変位可能であり、光学デバイス用材料37の位置を、結像レンズ33の光軸に対して位置合わせできるようになっている。

【0046】結像レンズ33によるマスク32の縮小像を、光学デバイス用材料37のフォトレジスト層表面に結像させる。この露光を、光学デバイス用材料37の全面にわたって密に行なう。液晶プロジェクタ用MLAを

製作するために、ネオセラム基板を用意し、この基板上に前述のTGMR-950レジストを $8.56\mu\text{m}$ の厚さに塗布した。次にホットプレートで、 $100^\circ\text{C}$ にてベーク時間180秒でブリベーカーした。

【0047】この基板を図7の1／5ステッパーで露光した。次のような露光条件①から⑧を連続して行なった。

①デフォーカス： $+11\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.13\text{秒}$

②デフォーカス： $+10\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.13\text{秒}$

③デフォーカス： $+9\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.11\text{秒}$

④デフォーカス： $+8\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.11\text{秒}$

⑤デフォーカス： $+7\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.11\text{秒}$

⑥デフォーカス： $+5\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.11\text{秒}$

⑦デフォーカス： $+3\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.11\text{秒}$

⑧デフォーカス： $+1\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.11\text{秒}$

この条件では、総合露光量は、照射量 $390\text{mW}\times 0.92\text{秒}$ （照度： $359\text{mJ}$ ）である。ここで、デフォーカス量の表示の+の符号は、焦点がレジスト表面の上方にあることを意味している。

【0048】この条件で露光後、PEB（ポスト・エキスポージャー・ベーク）を $60^\circ\text{C}$ にて180秒実施した。次いで、感光性材料の現像、 rinsingを行なった。その後、紫外線硬化装置にて180秒間紫外線を照射しながら真空引きを実施して、レジストのハードニングを行なった。紫外線硬化装置は、レジストの露光に使用する波長よりも短波長でレジストを硬化させることのできる波長を照射する。この操作によって、レジストの耐プラズマ性は向上し、次工程での加工に耐えられるようになる。このときのレジスト高さは $7.5\mu\text{m}$ であった。デフォーカスの効果によって、特段の段差を生じることなく形状を製作することができた。

【0049】その後、上記基板をTCP（誘導結合型プラズマ）ドライエッティング装置にセットし、真密度： $1.5\times 10^{-3}\text{Torr}$ 、 $\text{CHF}_3$ ： $5.0\text{sccm}$ 、 $\text{CF}_4$ ： $50.0\text{sccm}$ 、 $\text{O}_2$ ： $15.0\text{sccm}$ 、基板バイアス電力： $600\text{W}$ 、上部電極電力： $1.25\text{kW}$ 、基板冷却温度： $-20^\circ\text{C}$ の条件下でドライエッティングを行なった。またこの時、基板バイアス電力と上部電極電力を経時に変化させ、時間変化と共に選択比が小さくなるように変更しながらエッティングを行なった。基板の平均エッティング速度は、 $0.63\mu\text{m}/\text{分}$ であったが、実際のエッティング時間は、 $11.5\text{分}$ を要した。エッ

チング後のレンズ高さは、 $5.33\mu\text{m}$ であった。

【0050】（液晶用微小寸法MLA製作の具体例2）液晶用微小寸法MLA製作の具体例1と同じ濃度分布マスクレチカルを用い、ステッパー装置での露光条件を変更して行なった。次のような露光条件①から⑧を連続して行なった。

①デフォーカス： $+10\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.44\text{秒}$

②デフォーカス： $+5\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.44\text{秒}$

③デフォーカス： $+0\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.13\text{秒}$

この条件では、総合露光量は、照射量 $390\text{mW}\times 1.02\text{秒}$ （照度： $394\text{mJ}$ ）である。

【0051】この条件で露光後、感光性材料のPEB、現像、rinsingを行なった。次いで、液晶用微小寸法MLA製作の具体例1と同じ条件でレジストのハードニングを行なった。このときのレジスト高さは $7.2\mu\text{m}$ であった。デフォーカスの効果によって、特段の段差を生じることなく形状を製作することができた。その後、上記基板をTCPドライエッティング装置にセットし、液晶用微小寸法MLA製作の具体例1と同じ条件でドライエッティングを行なった。基板の平均エッティング速度は、 $0.67\mu\text{m}/\text{分}$ であったが、実際のエッティング時間は、 $11.0\text{分}$ を要した。エッティング後のレンズ高さは、 $5.3\mu\text{m}$ であった。

【0052】（液晶用微小寸法MLA製作の具体例3）

ここでは非球面形状のMLAを製作した。上記の液晶用微小寸法MLA製作の具体例1と同じ濃度分布マスクレチカルを用い、ステッパー装置での露光条件を変更して行なった。次のような露光条件①から⑧を連続して行なった。

①デフォーカス： $+11\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.08\text{秒}$

②デフォーカス： $+10\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.08\text{秒}$

③デフォーカス： $+9\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.10\text{秒}$

④デフォーカス： $+8\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.13\text{秒}$

⑤デフォーカス： $+7\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.18\text{秒}$

⑥デフォーカス： $+5\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.20\text{秒}$

⑦デフォーカス： $+3\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.10\text{秒}$

⑧デフォーカス： $+1\mu\text{m}$ 、照射量： $390\text{mW}\times 0.05\text{秒}$

この条件では、総合露光量は、照射量 $390\text{mW}\times 0.92\text{秒}$ （照度： $359\text{mJ}$ ）である。

【0053】この条件で露光後、感光性材料のP E B、現像、リヌスを行なった。次いで、液晶用微小寸法MLA製作の具体例1と同じ条件でレジストのハードニングを行なった。このときのレジスト高さは $7.7\text{ }\mu\text{m}$ であった。デフォーカスの効果によって、特段の段差を生じることなく形状を製作することができた。その後、上記基板をTCPドライエッティング装置にセットし、液晶用微小寸法MLA製作の具体例1での条件のうち、O<sub>2</sub>を15.0 sccmから0.9 sccmへ変更してドライエッティングを行なった。基板の平均エッティング速度は、 $0.55\text{ }\mu\text{m}/\text{分}$ であったが、実際のエッティング時間は、14.0分を要した。エッティング後のレンズ高さは、 $7.4\text{ }\mu\text{m}$ であった。

【0054】このように、各マスク内で光透過量の隣接効果の量を制御してMLAの非球面形状を形成することができた。この具体例3によって製作したMLAは、具体例1で作成したMLAよりも焦点距離が短いMLAを実現することができた。また、具体例3によれば、従来の濃度分布マスク工法で作成したMLAよりも高精度の非球面形状を再現性よく形成することができた。

#### 【0055】

【発明の効果】本発明にかかる3次元構造体製造方法では、露光に用いる濃度分布マスクは透明基板上に2次元の光強度分布を有する遮光パターンが形成されたものであり、適当な形状及び大きさの単位セルにより隙間なく分割されており、各単位セル内の遮光パターンが感光性材料パターンの対応した位置の高さに応じた光透過量又は遮光量となるように設定されていることにより遮光パターンが構成されているものであり、基板上に感光性材料層を形成し、上記濃度分布マスクを用いた露光において

て、露光時間内にデフォーカス量を予め設定された条件で変化させつつ行なうフォトリソグラフィ工程により感光性材料パターンを形成するようにしたので、フォトレジストに形成される3次元パターン、ひいては目的とする物品の表面形状を平滑なものとすることができます。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】6種類の単位セル形状の例を示す図である。

【図2】MLAの濃度分布マスクに配置される単位セルの例を示す図である。

10 【図3】単位セル内の光透過領域又は遮光領域の増加又は減少の起点となる初期パターンと光透過量又は遮光量を変化させる方法を示す図である。

【図4】単位セル内の光透過領域又は遮光領域を増加又は減少させる方法を示す図で、(ア)は単位セルが長方形の場合、(イ)は単位セルが正六角形の場合の例である。

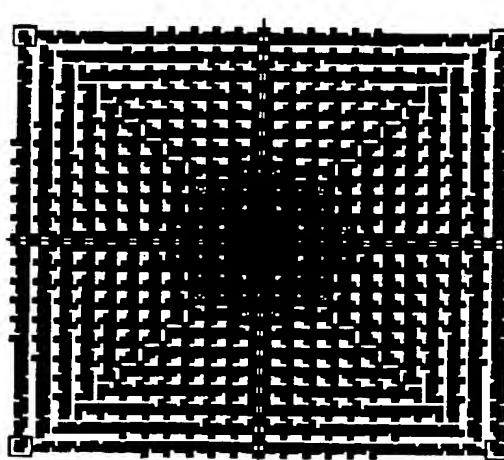
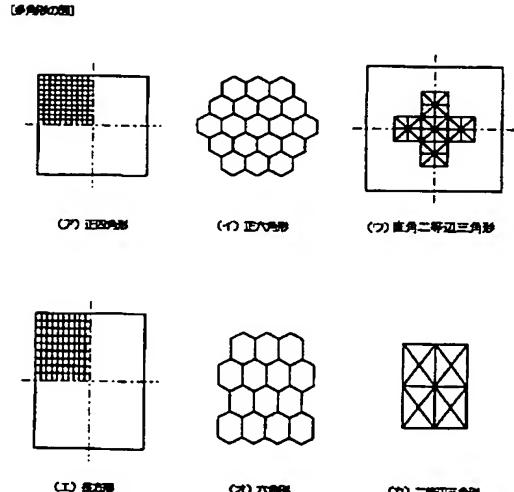
【図5】濃度分布マスクレチカルの製作に用いるレーザー光照射装置の一例を示す概略構成図である。

20 【図6】マイクロレンズ用濃度分布マスクの遮光パターンの一例を示す図である。

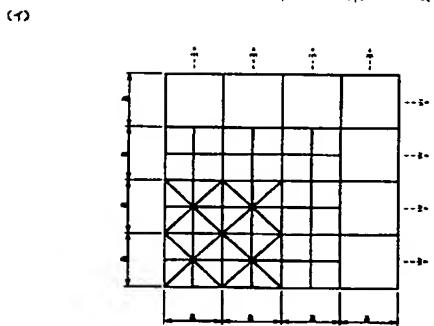
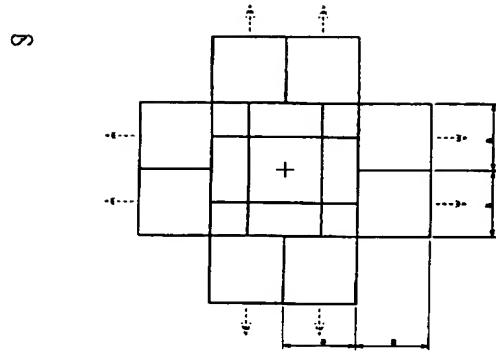
【図7】縮小投影露光装置の一例を示す概略構成図である。

#### 【符号の説明】

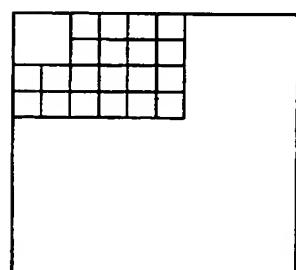
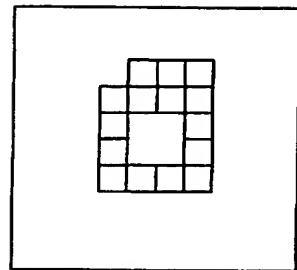
- |      |           |
|------|-----------|
| 1    | レーザー光発振装置 |
| 2    | ビームスプリッター |
| 4    | 光変調器      |
| 5    | 光変調制御装置   |
| 6    | 光偏向器      |
| 7    | 対物レンズ     |
| 30 8 | X-Yステージ   |



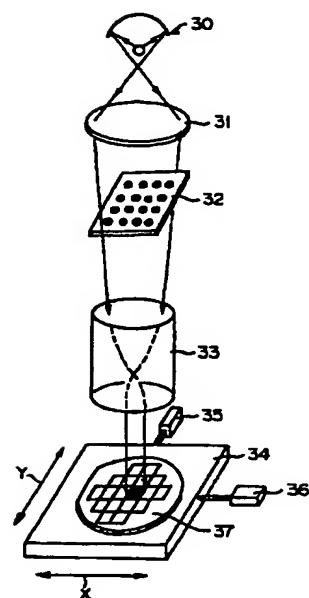
【図2】



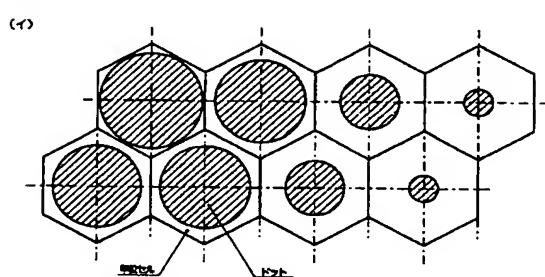
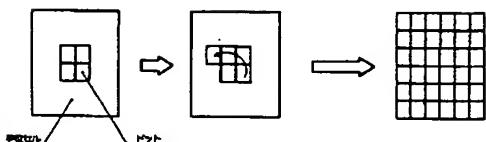
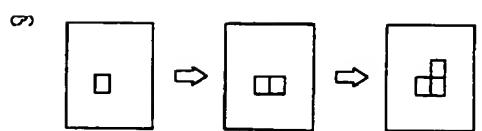
【図3】



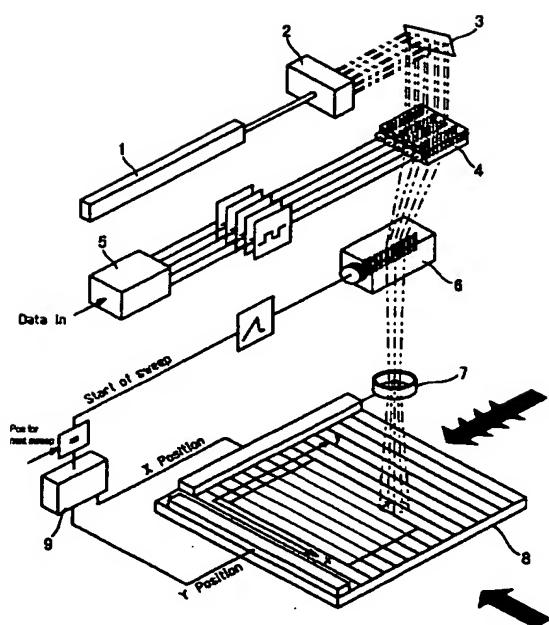
【図7】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.7

識別記号

F I

マークド (参考)

B 29 L 11:00

B 29 L 11:00